



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 101 40 606 C 1

⑤ Int. Cl. 7:  
H 01 L 27/22  
H 01 L 43/08  
G 01 R 33/09  
G 11 C 11/14

⑳ Aktenzeichen: 101 40 606.1-33  
㉔ Anmeldetag: 18. 8. 2001  
㉕ Offenlegungstag: -  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 8. 5. 2003

DE 101 40 606 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉗ Patentinhaber:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉘ Erfinder:  
Schmollngruber, Peter, 71134 Aidlingen, DE; Siegle,  
Henrik, Dr., 71229 Leonberg, DE; Huettner, Andreas,  
Dr., 33619 Bielefeld, DE; Hempel, Tobias, 33611  
Bielefeld, DE; Lucianski, Tadeusc, Poznan, PE; Reiss,  
Gunter, Prof. Dr., 33602 Bielefeld, DE

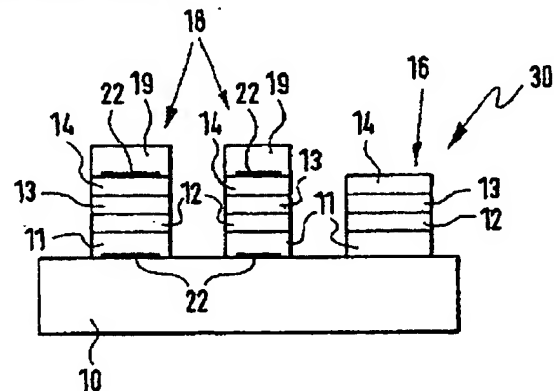
㉙ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 198 43 350 A1  
DE 101 05 894 A1

[http://www.research.ibm.com/resources/news/20001207\\_mramimages.shtml](http://www.research.ibm.com/resources/news/20001207_mramimages.shtml). (Stand 18.08.2001);

㉚ Integriertes Speicher- und Sensierelement auf Basis des GMR-Effektes

㉛ Es wird ein integriertes Speicher- und Sensierelement (30) vorgeschlagen, wobei zunächst auf einem Substrat (10) bereichsweise eine gegenüber einem externen Magnetfeld auf Grund des GMR-Effektes sensitive erste Schichtanordnung (16) vorgesehen ist, die zwei übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten (12, 14) aufweist, die über eine Zwischenschicht (13) voneinander getrennt sind. Daneben ist auf dem Substrat (10) bereichsweise auch mindestens eine gegenüber dem externen Magnetfeld zumindest weitgehend nicht sensitive zweite Schichtanordnung (18) vorgesehen, die zwei übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten (12, 14) aufweist, die ebenfalls über eine Zwischenschicht (13) voneinander getrennt sind. Die erste Schichtanordnung (16) ist somit ein auf die Stärke und/oder Richtung des externen Magnetfeldes magnetisch sensibles Element, während die zweite Schichtanordnung (18) ein magnetisch zwischen zwei Zuständen (20, 21) umschaltbares, digitales Speicherelement bildet. Insbesondere sind die beiden Schichtanordnungen (16, 18), abgesehen von einer magnetischen Abschirmung (19) und einer Anordnung von Leiterbahnen (22), gleich aufgebaut.



DE 101 40 606 C 1

## DE 101 40 606 C 1

1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein integriertes Speicher- und Sensorelement, insbesondere zur Verwendung als Sensorelement für Magnetfelder mit in das Sensorelement integrierten Speicher- bzw. Logikbausteinen, nach der Gattung des Hauptanspruches.

## Stand der Technik

[0002] Die Messung mechanischer Größen wie Weg, Winkel und Drehzahl sowie daraus abgeleiteter Größen wie Drehmoment erlangt zunehmende Bedeutung im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik. Dabei sind vor allem berührungslos arbeitende Magnetsensoren viel versprechend, da diese verschleißfrei arbeiten und robust gegenüber Verschmutzungen sind. Insbesondere widerstehen Magnetsensoren, die auf dem sogenannten "GMR-Effekt" beruhen (GMR = "giant magneto resistance") auch höheren Temperaturen um 200°C. Gegenüber herkömmlichen Techniken wie Sensorelementen auf Grundlage des Hall-Effektes bzw. des AMR-Effektes (AMR = "anisotropic magneto resistance") bietet der GMR-Effekt wegen der relativ großen Effektgröße bzw. des vergleichsweise großen Messsignals und der gleichzeitig hohen Sensitivität außerdem den Vorteil, dass damit Sensorelemente mit großen Arbeitsabständen und gleichzeitig kompakten Ausmaßen bei reduzierter Leistungsaufnahme und erhöhter Temperaturstabilität realisierbar sind.

[0003] Generell unterscheidet man bei Sensorelementen auf der Grundlage des GMR-Effektes, Sensorelemente mit sogenannten "gekoppelten Multilagen" und die "Spin-Valve-Sensorelemente".

[0004] Bei Sensorelementen mit gekoppelten Multilagen sind alternierend magnetische und unmagnetische Schichten mit einer Dicke im Nanometerbereich aufeinander aufgebracht (typischerweise ca. 20 Perioden), wobei die unmagnetische Schicht hinsichtlich ihrer Dicke so gewählt ist, dass eine auftretende Austauschkopplung die Magnetisierungsrichtungen in den magnetischen Schichten antiparallel zueinander ausrichtet. In diesem Zustand ist der elektrische Widerstand der Schichtanordnung auf Grund spinabhängiger Elektronenstreuung zunächst maximal. Ein extern angelegtes oder auftretendes Magnetfeld bewirkt dann weiter, dass sich die Richtungen der Magnetisierungen in den magnetischen Schichten parallel zueinander ausrichten, was den elektrischen Widerstand der Schichtanordnung erheblich, insbesondere um bis zu 20%, erniedrigt.

[0005] Im Fall der Spin-Valve-Sensorelemente ist eine magnetisch weiche Detektionsschicht durch eine unmagnetische Schicht von einer magnetisch harten Schicht getrennt, wobei die unmagnetische Schicht so dick gewählt ist, dass keine Austauschkopplung zwischen den beiden magnetischen Schichten auftritt. Weiter ist dort vorgesehen, dass die Richtung der Magnetisierung der magnetisch harten Schicht durch eine sogenannte "Pinning-Schicht" vorgegeben und unabhängig von einem externen Magnetfeld festgehalten wird. Dreht man nun ein externes Magnetfeld über diesem Spin-Valve-Sensorelement, so folgt die Richtung der Magnetisierung der magnetisch weichen Schicht diesem externen Magnetfeld, während die Richtung der Magnetisierung der "gepinnten", magnetisch harten Schicht fest bleibt. Somit überträgt sich der Winkel des externen Magnetfeldes auf den Winkel zwischen der Richtung der Magnetisierung in der magnetisch weichen Schicht und der magnetisch harten Schicht, wodurch ein winkelabhängiger elektrischer Widerstand des Spin-Valve-Sensorelementes entsteht.

[0006] Ein Beispiel für eine magnetisch sensitive Schichtanordnung auf der Basis von gekoppelten Multilagen und

2

Spin-Valve-Schichtsystemen, wobei diese Schichtsysteme jeweils gegenüber einem externen Magnetfeld auf der Grundlage des GMR-Effektes sensitiv sind, ist in der Anmeldung DE 101 05 894.2 erläutert. Daraus sind auch weitere Details zum Aufbau und zur Funktionsweise dieser Schichtsysteme zu entnehmen.

[0007] Aus technologischer Sicht ist das "Pinnen" einer der beiden ferromagnetischen Schichten in den Spin-Valve-Sensorelementen bzw. -schichtsystemen durch übliche antiferromagnetische oder gegebenenfalls auch ferromagnetische Pinning-Schichten nicht unproblematisch. Zum Einen wird durch die Pinning-Schicht die maximal erreichbare GMR-Effektamplitude durch sogenanntes "Shunting" des Sensorstromes in der Pinning-Schicht auf wenige Prozent reduziert. Zum Anderen erfordert die Herstellung der Pinning-Schicht mit gewünschten Eigenschaftsprofilen zusätzliche Prozessschritte mit aufwendigen und kostenintensiven Anlassbehandlungen im Magnetfeld.

[0008] Neben der Sensierung von Magnetfeldern werden Schichtsysteme, die auf der Grundlage des GMR-Effektes arbeiten, auch als Speicher, d. h. sogenannte MRAN's ("magnetic random access memory") eingesetzt. So werden beispielsweise auf der Internetseite [http://www.research.ibm.com/resources/news/20001207\\_mrimages.shtml](http://www.research.ibm.com/resources/news/20001207_mrimages.shtml) von der Firma IBM MRAM's vorgestellt, die auf Schichtanordnungen nach dem Spin-Valve-Prinzip beruhen und dem GMR-Effekt nutzen.

[0009] Insbesondere ist dort beschrieben, dass derartige Schichtanordnungen durch geeignete Strukturierung und Beschaltung mit einer Anordnung von Leiterbahnen, die auf der Oberseite und der Unterseite der Schichtanordnung verlaufen, sowie durch Erzeugen eines internen Magnetfeldes in diesen Schichtanordnungen über einen definiert in den Leiterbahnen geführten elektrischen Strom zwischen zwei, auch nach Abschalten des elektrischen Stromes zeitlich stabilen Zuständen umgeschaltet werden können.

[0010] Im Einzelnen kann durch das erzeugte interne Magnetfeld die Richtung der Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht parallel oder antiparallel zu der Richtung der Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht ausgerichtet werden. Dazu sind die vorgesehenen Leiterbahnen als sogenannte "bit-line" und "word-line" verschaltet, so dass je nach Art und Stärke der Beaufschlagung der einzelnen Leiterbahnen mit dem elektrischen Strom einerseits ein Einschreiben des Speicherzustandes in die Schichtanordnung und andererseits ein Auslesen dieses Speicherzustandes ohne ihn zu beeinflussen realisierbar ist.

[0011] Hinsichtlich weiterer Details zu Funktion und Beschaltung dieser MRAN's sei auf die genannte Internet-Seite verwiesen, wo diese ausführlich sowohl hinsichtlich Beschaltung als auch hinsichtlich des Schichtaufbaus beschrieben sind.

[0012] Aus DE 198 43 350 A1 ist ein elektronisches Bauelement bekannt, das ein magnetoresistives Sensorelement und ein magnetoresistives Speicherelement auf einem Substrat aufweist, wobei Sensorelement und Speicherelement auf der Grundlage des GMR-Effektes arbeiten. Im Fall des Speicherelementes ist eine weichmagnetische und eine hartmagnetische Schicht vorgesehen, die über eine Zwischenschicht getrennt und hinsichtlich der Magnetisierungsrichtung über eine Strombeaufschlagung parallel oder antiparallel ausrichtbar sind. Im Fall des Sensorelementes ist eine hartmagnetische Referenzschicht, die beispielsweise mittels einer sich selbst stabilisierenden Kopplung unter Verwendung eines künstlichen Antiferromagneten realisiert ist, und eine weichmagnetische Detektionsschicht vorgesehen.

[0013] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung eines integrierten Speicher- und Sensorelemen-

## DE 101 40 606 C 1

3

tes, mit dem sowohl Magnetfelder detektiert als auch eine Speicherung von Information in unmittelbarer Nähe zu dem Sensierelement und insbesondere integriert auf einem gemeinsamen Substrat möglich ist.

## Vorteile der Erfindung

[0014] Das erfindungsgemäße integrierte Speicher- und Sensierelement hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass das Sensierelement in unmittelbarer Nähe zu dem oder bevorzugt den Speicherelementen angeordnet ist, wobei sich beide Bauteile integriert in einem Herstellungsprozess auf einem gemeinsamen Substrat erzeugen lassen.

[0015] Insofern kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen integrierten Speicher- und Sensierelementes bereits auf dem gemeinsamen Substrat eine Weiterverarbeitung der von dem Sensierelement aufgenommenen Messsignale erfolgen bzw. es können bereits dort Logikbausteine und/oder Speicherbausteine zur Weiterverarbeitung und Aufbereitung der Messsignale integriert werden.

[0016] Daneben ergibt sich durch die gemeinsame Integration auf einem Substrat ein deutlich vereinfachter und kostengünstiger Herstellungsprozess, da beispielsweise auf das zusätzliche Vorsehen von externen Speicherbauteilen sowie deren Verschaltung und Verbindung mit dem Sensierelement zumindest teilweise verzichtet werden kann. Vielmehr liegt das erfindungsgemäße Speicher- und Sensierelement nach Abschluss des Herstellungsprozesses nun vorteilhaft einstückig auf einem gemeinsamen Substrat vor.

[0017] Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen integrierten Speicher- und Sensierelementes liegt darin, dass durch die ferromagnetische Kopplung der beiden ferromagnetischen Schichten auf eine sogenannte Pinning-Schicht verzichtet werden kann. Insofern wird der Schichtaufbau sowohl für das Sensierelement als auch für das Speicherelement deutlich vereinfacht. Zudem sind nun auch ferromagnetisch gekoppelte Spin-Valve-Elemente einsetzbar, die im Wesentlichen, d. h. abgesehen von der Abschirmschicht und/oder der Bufferschicht sowie den vorgesehenen Leiterbahnen, dreilagig sind. Gleichzeitig entfallen durch den Verzicht auf die Pinning-Schicht die aufwendigen und kostenintensiven Maßnahmen zur Einstellung von deren Eigenschaftsprofilen.

[0018] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0019] So lässt sich die als Speicherelement dienende, gegenüber dem externen Magnetfeld möglichst weitgehend nicht sensitive zweite Schichtanordnung in besonders einfacher Weise dadurch vor dem Einfluss des externen Magnetfeldes schützen bzw. innerhalb des Messbereiches, dem das integrierte Speicher- und Sensierelement üblicherweise ausgesetzt ist, für das externe Magnetfeld zumindest weitgehend abschirmen, dass über dieser Schichtanordnung eine magnetische Abschirmung, insbesondere eine möglichst auf der dem Substrat abgewandten Seite der ferromagnetischen Schicht befindliche Abschirmschicht, angebracht wird. Diese Abschirmschicht ist vorteilhaft eine galvanisch abgeschiedene Permalloy-Schicht, deren Erzeugung und Eigenschaften aus dem Stand der Technik gut bekannt sind. Daneben eignen sich jedoch auch andere, Magnetfelder möglichst stark dämpfende Schichten.

[0020] Zur Verbesserung des Schichtwachstums und der Haftung der Schichtanordnungen auf dem Substrat ist vorteilhaft vorgesehen, dass sich zwischen jeder der Schichtanordnungen und dem Substrat jeweils eine an sich bekannte Bufferschicht, beispielsweise eine Permalloy-Schicht, befindet. Besonders vorteilhaft ist diese Permalloy-Schicht

4

eine möglichst hochohmige Permalloy-Schicht, da dadurch das sogenannte "Shunting" deutlich reduziert wird, was zu höheren GMR-Effektamplituden und damit größeren und besser auswertbaren Signalen führt.

[0021] Die gewünschte ferromagnetische Kopplung zwischen den beiden ferromagnetischen Schichten der Schichtanordnung lässt sich besonders einfach und vorteilhaft dadurch erreichen, dass die Zwischenschicht aus einer Legierung von Kupfer mit mindestens einem Edelmetall, insbesondere einer CuAgAu-Legierung, besteht. Diese Legierung als Material für die Zwischenschicht führt zudem zu einer deutlich verbesserten Temperaturstabilität der erzeugten Schichtanordnungen, wie dies in DE 101 05 894.2 bereits beschrieben ist.

[0022] Schließlich ist es vorteilhaft möglich, durch Variation von Dicke, Material und Textur der einzelnen Schichten in den Schichtanordnungen, insbesondere im Fall derjenigen Schichtanordnung, die zur Ausbildung des Sensierelementes vorgesehen ist, die sogenannte "Minor-Loop"-Position gegenüber dem magnetischen Nullfeld, d. h. gegenüber einem ausgeschalteten oder fehlenden externen Magnetfeld, gezielt zu verschieben und/oder darüber die Breite der "Minor-Loop" zu definieren, so dass deren Position und Breite optimal an den gewünschten Messbereich anpassbar ist.

[0023] Unter dem Begriff "Minor-Loop" ist in diesem Zusammenhang die beim Ausmessen des elektrischen Widerstandes der magnetisch sensitiven Schichtanordnung auf Basis des GMR-Effektes als Funktion des externen Magnetfeldes im magnetischen Kleinfeldbereich, also dem Bereich, der in der Anwendung durch das externe Geberfeld in der Schichtanordnung vorgegeben ist, aufgenommene Messkurve bzw. Hysterese-Kurve zu verstehen.

[0024] Besonders vorteilhaft ist weiter, wenn sich die zweite, gegenüber dem externen Magnetfeld möglichst nicht sensitive Schichtanordnung hinsichtlich ihres Aufbaus von der ersten, hinsichtlich des externen Magnetfeldes sensitiven Schichtanordnung in ihrem eigentlichen, für den GMR-Effekt relevanten Schichtaufbau, d. h. abgesehen von der magnetischen Abschirmung bzw. Abschirmschicht sowie gegebenenfalls der Bufferschicht und der Anordnung von Leiterbahnen, nicht bzw. möglichst wenig unterscheidet. Dies erlaubt, das Speicherelement und das Sensierelement mit im Wesentlichen gleichem Aufbau in einem Herstellungsprozess auf einem gemeinsamen Substrat zu erzeugen, was zu erheblichen Vereinfachungen und Kosteneinsparungen führt.

[0025] Insbesondere kann nunmehr auch ein metallischer MRAM mit entsprechenden Speicherelementen in unmittelbarer Umgebung zu einem Sensierelement auf Basis des GMR-Effektes auf einem gemeinsamen Substrat realisiert werden, wobei beide Schichtanordnungen jeweils bevorzugt lediglich einen dreilagigen Aufbau aus zwei ferromagnetisch miteinander gekoppelten ferromagnetischen Schichten und einer dazwischen liegenden Zwischenschicht aufweisen.

## Zeichnung

[0026] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 eine auf Grund des GMR-Effektes magnetisch sensitive Schichtanordnung als Prinzipskizze im Schnitt, Fig. 2 die GMR-Kennlinie und die "Minor-Loop" der Schichtanordnung gemäß Fig. 1, Fig. 3 eine Draufsicht auf ein integriertes Speicher- und Sensierelement mit Schichtanordnungen gemäß Fig. 1 und Fig. 4 einen Schnitt durch Fig. 3 entlang der eingezeichneten Schnittlinie.

## DE 101 40 606 C 1

5

## Ausführungsbeispiele

[0027] Die Fig. 1 zeigt eine GMR-Schichtanordnung 5 im Schnitt, wobei auf einem Substrat 10, beispielsweise aus Siliziumdioxid, eine Bufferschicht 11, darauf eine erste ferromagnetische Schicht 12, darauf eine Zwischenschicht 13 und darauf eine zweite ferromagnetische Schicht 14 aufgebracht ist.

[0028] Die Bufferschicht 11 ist im erläuterten Beispiel eine Schicht mit im Wesentlichen der Zusammensetzung  $\text{Ni}_{80} \text{Gew.}\% \text{Fe}_{20} \text{Gew.}\%$  (Permalloy) und gegebenenfalls weiteren Zusätzen, bevorzugt eine hochohmige Permalloy-Schicht der Zusammensetzung  $\text{Ni}_{79} \text{Gew.}\% \text{Fe}_{16,7} \text{Gew.}\% \text{Mo}_4 \text{Gew.}\% \text{Mn}_{0,3} \text{Gew.}\%$ . Ihre Dicke liegt im Bereich einiger Nanometer, beispielsweise bei 3 nm.

[0029] Die auf der Bufferschicht 11 befindliche erste ferromagnetische Schicht 12 dient im erläuterten Beispiel als hartmagnetische Referenzschicht, d. h. als Schicht, deren Richtung der Magnetisierung von der Richtung eines externen Magnetfeldes zumindest unterhalb einer Grenzfeldstärke zumindest nahezu unbeeinflusst bleibt. Konkret ist die erste ferromagnetische Schicht 12 beispielsweise eine Cobalt-Schicht mit einer Dicke von 2,5 nm.

[0030] Die Zwischenschicht 13 ist eine Kupfer-Schicht mit einer Dicke von etwa 2 nm oder bevorzugt eine Schicht aus einer Kupfer-Silber-Gold-Legierung, vorzugsweise der Zusammensetzung  $\text{Cu}_{55} \text{Atom}\% \text{Ag}_{10} \text{Atom}\% \text{Au}_5 \text{Atom}\%$ , mit einer Dicke von ca. 1,5 nm oder ca. 2,5 nm.

[0031] Auf der Zwischenschicht 13 befindet sich die zweite ferromagnetische Schicht 14, die im erläuterten Beispiel eine weichmagnetische Detektionsschicht ist, d. h. eine Schicht, bei der sich die Richtung der Magnetisierung entsprechend der Richtung eines externen Magnetfeldes zumindest weitgehend parallel zu diesem ausrichtet. Die zweite ferromagnetische Schicht 14 besteht beispielsweise aus Cobalt und hat eine Dicke von 2 nm.

[0032] Die Eigenschaft "hartmagnetisch" oder "weichmagnetisch" der Schichten 12, 14 hängt im Übrigen in bekannter Weise von deren Textur und deren Schichtdicke ab.

[0033] Durch die erläuterten Materialien für die erste ferromagnetische Schicht 12 und die zweite ferromagnetische Schicht 14 sowie die Zwischenschicht 13 wird erreicht, dass die beiden übereinander liegenden ferromagnetischen Schichten 12, 14 ferromagnetisch miteinander gekoppelt sind, so dass auf eine ansonsten vielfach erforderliche Pinning-Schicht verzichtet werden kann. Die ferromagnetische Kopplung der beiden ferromagnetischen Schichten 12, 14 bedeutet insbesondere, dass sich die Richtungen der Magnetisierung dieser beiden Schichten in Abwesenheit eines externen Magnetfeldes und ohne zusätzliche, diese Einstellung möglicherweise verbindenden Hystereseffekte parallel zueinander ausrichten.

[0034] Im Übrigen sei an dieser Stelle betont, dass sich die beschriebene Kopplung zwischen den beiden ferromagnetischen Schichten 12, 14 in bekannter Weise über eine stete Veränderung der Dicke der Zwischenschicht 13 abwechselnd in eine antiferromagnetische Kopplung und wieder in eine ferromagnetische Kopplung überführen lässt, wobei bei Schichtanordnungen 5, die auf dem Spin-Valve-Prinzip beruhen, vor allem der Bereich zwischen dem sogenannten "zweiten antiferromagnetischen Maximum" und dem sogenannten "dritten antiferromagnetischen Maximum" relevant ist.

[0035] Die Fig. 2 zeigt auf der unteren x-Achse und der zugehörigen linken y-Achse die Veränderung des spezifischen elektrischen Widerstandes der GMR-Schichtanordnung 5 als Funktion der Stärke und Richtung eines externen Magnetfeldes  $H_{\text{ext}}$ .

6

[0036] Im Einzelnen ist dabei das externe Magnetfeld  $H_{\text{ext}}$  in der Einheit Oersted [Oe] aufgetragen, während die Änderung des elektrischen Widerstandes auf den minimalen elektrischen Widerstand bezogen ist  $[\Delta R/R_{\text{min}}]$ , so dass sich eine Widerstandsänderung bezogen auf den minimalen Widerstand in Prozent ergibt. Variiert man nun das externe Magnetfeld  $H_{\text{ext}}$  ausgehend von der linken unteren Ecke des Diagramms zur rechten unteren Ecke des Diagramms und zurück, erhält man, dem Verlauf der eingezeichneten Pfeile folgend, die GMR-Kennlinie 17.

[0037] Zu deren Verständnis geht man zunächst von einer parallelen Einstellung der Richtungen der Magnetisierung in der ersten ferromagnetischen Schicht 12 und der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 aus. Startet man dann in der linken unteren Ecke des Diagramms bei einem starken, negativen Magnetfeld (magnetische Sättigung), d. h. einem Magnetfeld, das zu der Richtung der Magnetisierung in der zweiten ferromagnetischen Schicht 14, die als weichmagnetische Detektionsschicht dient, parallel gerichtet ist, so tritt zunächst bei Erreichen von Magnetfeldstärken von ca. +10 Oersted auf Grund des GMR-Effektes eine deutliche Erhöhung des elektrischen Widerstandes der GMR-Schichtanordnung 5 auf. Dabei beginnt die Detektionsschicht, d. h. die zweite ferromagnetische Schicht 14, ihre Magnetisierungsrichtung nach dem externen, seine Richtung ändernden Magnetfeld auszurichten, während die Magnetisierungsrichtung der ersten ferromagnetischen Schicht 12, d. h. der Referenzschicht zunächst noch unverändert bleibt. Bei einer weiteren Steigerung des externen Magnetfeldes  $H_{\text{ext}}$  liegt dann bei ca. +20 Oersted eine antiparallele Ausrichtung der Richtung der Magnetisierung in der ersten ferromagnetischen Schicht 12 und der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 vor (maximaler elektrischer Widerstand). Wird nun die Stärke des externen Magnetfeldes  $H_{\text{ext}}$  weiter erhöht, beginnt auch die Richtung der Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht 14 sich allmählich entsprechend der Richtung des externen Magnetfeldes auszurichten, was bei weiter steigenden externen Magnetfeldern zu einem Zusammenbruch des gewünschten GMR-Effektes bzw. einer magnetischen Sättigung bei ca. +40 Oersted führt, so dass schließlich im Bereich oberhalb von ca. +40 Oersted bis +100 Oersted kein GMR-Effekt mehr messbar ist.

[0038] Führt man dann in der rechten unteren Ecke des Diagramms gemäß Fig. 2 mit einem entsprechend umgekehrt orientierten externen Magnetfeld  $H_{\text{ext}}$  fort, beobachtet man auf Grund von Hysteresiseffekten eine analoge, gegenüber dem Nullpunkt jedoch verschobene Messkurve, d. h. die beim Einsatz als Sensorelement gewünschte Widerstandsänderung als Funktion des externen Magnetfeldes ist nun besonders groß im Bereich von etwa -10 Oersted, bevor es bei weiter in der Amplitude steigenden externen Magnetfeldern erneut zu einem Zusammenbruch des GMR-Effektes bzw. einer unmagnetischen Sättigung bei etwa -40 Oersted kommt.

[0039] Ein Sensierelement mit einer GMR-Schichtanordnung 5 wird man möglichst im Bereich einer möglichst starken Änderung des elektrischen Widerstandes  $\Delta R/R_{\text{min}}$  als Funktion des externen Magnetfeldes  $H_{\text{ext}}$  betreiben, d. h. möglichst im Kleinfeldbereich, der gemäß Fig. 2 den Bereich von -20 bis +20 Oersted umfasst.

[0040] In Fig. 2 ist weiter die sogenannte "Minor-Loop" 15 der GMR-Schichtanordnung 5 dargestellt, d. h. im Beispiel die Hysteresekurve im Kleinfeldbereich von ca. -4 Oersted bis +16 Oersted. Gemäß der oberen x-Achse ist dabei ein externes Magnetfeld  $H_{\text{ext}}$  im Bereich von -10 Oersted bis +20 Oersted aufgetragen, das gemäß der rechten y-Achse eine Änderung des elektrischen Widerstandes relativ zu dem minimalen elektrischen Widerstand  $[\Delta R/R_{\text{min}}]$  der

## DE 101 40 606 C 1

7

GMR-Schichtanordnung 5, die in Prozent aufgetragen ist, bewirkt. Im Unterschied zu der GMR-Kennlinie 17 wird jedoch bei der "Minor-Loop" 15 darauf verzichtet, starke externe Magnetfelder  $H_{ext}$  anzulegen, so dass sich eine von der GMR-Kennlinie 17 verschiedene Hysteresekurve ergibt.

[0041] Im Einzelnen zeigt Fig. 2 die "Minor-Loop" 15, dem Verlauf der eingezeichneten Pfeile folgend, beginnend bei einem negativen externen Magnetfeld  $H_{ext}$  von -10 Oersted, d. h. einem externen Magnetfeld, das parallel zu der Richtung der Magnetisierung in der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 bzw. der weichmagnetischen Detektionsschicht gerichtet ist, die aufgrund der ferromagnetischen Kopplung zunächst parallel zueinander ausgerichtet sind.

[0042] Steigert man nun das externe Magnetfeld  $H_{ext}$  von 10 Oersted auf ca. +15 Oersted, kommt auf Grund des GMR-Effektes zu einem deutlichen Anstieg des elektrischen Widerstandes auf einen Maximalwert, bei dessen Erreichen die Richtungen der Magnetisierung in der ersten ferromagnetischen Schicht 12 und der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 antiparallel zueinander ausgerichtet sind. Kehrt man dann die Richtung des externen Magnetfeldes  $H_{ext}$  beginnend in der rechten oberen Ecke des Diagrammes wieder um, so stellt sich bei einem Magnetfeld von ca. -2 Oersted auf Grund des GMR-Effektes wieder ein verringerter elektrischer Widerstand in der GMR-Schichtanordnung 5 ein, bevor man schließlich bei externen Magnetfeldern von ca. -10 Oersted erneut den Anfangszustand mit minimalem elektrischen Widerstand erreicht, bei dem die Richtungen der Magnetisierung in der ersten ferromagnetischen Schicht 12 und der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 auf Grund der ferromagnetischen Kopplung wieder parallel zueinander ausgerichtet sind. Die im Bereich der "Minor-Loop" 15 beobachtete Hysteresis ist dabei die der weichmagnetischen Detektionsschicht 14.

[0043] Aus den beiden Kennlinien 15, 17 gemäß Fig. 2 ist entnehmbar, dass sich die GMR-Schichtanordnung 5 mit den beiden übereinander liegenden, ferromagnetisch miteinander verkoppelten ferromagnetischen Schichten einerseits als magnetisch sensitive Schichtanordnung einsetzen lässt, die gemäß der GMR-Kennlinie 17 im Kleinfeldbereich eine deutliche Änderung des elektrischen Widerstandes als Funktion von Stärke und Richtung des externen Magnetfeldes  $H_{ext}$  aufweist, dass eine derartige GMR-Schichtanordnung 5 aber auch als Speicherelement dienen kann, wobei man ausnutzt, dass die "Minor-Loop" 15 im Kleinfeldbereich eine ausgeprägte Hysteresis zeigt.

[0044] Insbesondere definiert die "Minor-Loop" 15 einen ersten Zustand 20 eines solchen Speicherelementes mit einem relativ hohen elektrischen Widerstand der Schichtanordnung 5 und einen zweiten Zustand 21 des Speicherelementes mit einem vergleichsweise niedrigen elektrischen Widerstand der Schichtanordnung 5. Beide Zustände 20, 21 sind dabei auch nach Abschalten des externen Magnetfeldes  $H_{ext}$  zeitlich stabil, so dass diese beiden Zustände 20, 21 zwei Speicherzustände charakterisieren, die über ein Magnetfeld erzeugbar und über den Widerstand der Schichtanordnung 5 auslesbar sind.

[0045] Aufbauend auf diesen Vorüberlegungen zeigt Fig. 3 nun ein Ausführungsbeispiel für ein integriertes Speicher- und Sensierelement 30, wobei auf einem gemeinsamen Substrat 10, beispielsweise einen Siliziumdioxidsubstrat oder einem Glassubstrat, bereichsweise eine erste Schichtanordnung 16 und bereichsweise mehrere zweite Schichtanordnungen 18 erzeugt worden sind. Dabei ist in Fig. 3 auf die Darstellung an sich bekannter Anschlusskontaktierungen, Leiterbahnen und weiterer, zur Beschaltung der Schichtanordnungen 16, 18 erforderlicher elektronischer Bauteile aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet worden.

8

[0046] Die Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch Fig. 3 entlang der eingezeichneten Schnittlinie, wobei zunächst erkennbar ist, dass die erste Schichtanordnung 16 analog der GMR-Schichtanordnung 5 aufgebaut ist. Insbesondere ist die erste Schichtanordnung 16 als Sensierelement für Stärke und/oder Richtung eines externen Magnetfeldes  $H_{ext}$  innerhalb eines definierten Messbereiches, der beispielsweise von 15 Oersted bis +15 Oersted reicht, ausgelegt. Dabei nutzt man zur Sensierung des externen Magnetfeldes, wie erläutert, den GMR-Effekt aus, der als Funktion dieses externen Magnetfeldes zu einer Veränderung des elektrischen Widerstandes in der ersten Schichtanordnung 16 führt.

[0047] Insbesondere sei betont, dass die erste Schichtanordnung 16 zwei übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten 12, 14 aufweist, die über die Zwischenschicht 13 voneinander getrennt sind.

[0048] Neben der ersten Schichtanordnung 16 sind auf dem Substrat 10 gemäß Fig. 4 weiter zwei zweite Schichtanordnungen 18 erkennbar, die sich von der ersten Schichtanordnung 16 und der GMR-Schichtanordnung 5 gemäß Fig. 1 nur dadurch unterscheiden, dass auf der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 jeweils eine Abschirmschicht 19 aufgebracht ist, und dass zwischen der Abschirmschicht 19 und der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 sowie zwischen dem Substrat 10 und der Bufferschicht 11 jeweils eine Anordnung von elektrischen Leitern in Form einer Leiterstruktur 22 vorgesehen ist.

[0049] Diese Leiterstruktur 22 ist dabei analog zu der auf der Internetseite [http://www.research.ibm.com/resources/news/20001207\\_mrimages.shtml](http://www.research.ibm.com/resources/news/20001207_mrimages.shtml) in Form von sich kreuzenden "bit-lines" und "word-lines" ausgeführt.

[0050] Mittels der in Form von "bit-lines" und "word-lines" aufgebauten Leiterstruktur 22 lässt sich weiter in bekannter Weise über darin geeignete geführte elektrische Ströme, die zumindest bereichsweise ein internes Magnetfeld in der zweiten Schichtanordnung 18 erzeugen, die Richtung der Magnetisierung der weichmagnetischen Detektionsschicht, d. h. der zweiten ferromagnetischen Schicht 14, parallel oder antiparallel zu der Richtung der Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht, d. h. der ersten ferromagnetischen Schicht 12, ausrichten.

[0051] Weiter ist es mittels der "bit-lines" und der "word-lines" und den darin geführten elektrischen Strömen unter Ausnutzung des GMR-Effektes möglich, auszulesen, ob eine parallele oder antiparallele Ausrichtung dieser Magnetisierungen vorliegt.

[0052] Insofern charakterisieren die Ausrichtungen der Magnetisierungen in den beiden ferromagnetischen Schichten 12, 14 zwei Speicherzustände 20, 21, die über die mittels der Leiterstruktur 22 und das darüber erzeugte interne Magnetfeld einschreibbar und mittels der durch die Leiterstruktur 22 geführten elektrischen Ströme auch wieder auslesbar sind.

[0053] Die Abschirmschicht 19 ist im erläuterten Beispiel eine galvanisch abgeschiedene Permalloy-Schicht mit im Wesentlichen der Zusammensetzung  $\text{Ni}_{80} \text{Gew.}\% \text{Fe}_{20} \text{Gew.}\%$ , vorzugsweise eine hochreine Permalloy-Schicht der Zusammensetzung  $\text{Ni}_{79} \text{Gew.}\% \text{Fe}_{16,7} \text{Gew.}\% \text{Mo}_4 \text{Gew.}\%$   $\text{Mn}_{0,3} \text{Gew.}\%$ . Ihre Dicke ist im Einzelfall an die Stärke der jeweils eingesetzten externen Magnetfelder anzupassen.

[0054] Im Übrigen sei noch erwähnt, dass es im Rahmen des vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiels problemlos möglich ist, die Position der "Minor-Loop" 15 gemäß Fig. 2 relativ zu dem Nullfeld (d. h.  $H_{ext} = 0$ ) durch Variation der Dicke, der Textur und/oder des Materials der zweiten ferromagnetischen Schicht 14 und/oder der ersten ferromagnetischen Schicht 12 zu verschieben. Zudem lässt sich auf



## DE 101 40 606 C 1

9

diese Weise die Breite der "Minor-Loop" 15 so einstellen, dass sie stets optimal innerhalb des gewünschten Messbereiches positioniert ist. Schließlich kann eine Einstellung der Position und/oder Breite der "Minor-Loop" zumindest zum Teil auch über die Textur, die Dicke und/oder das Material der Bufferschicht 11 und/oder der Zwischenschicht 13 erfolgen.

[0055] Insgesamt weist das integrierte Speicher- und Sensierelement 30 gemäß Fig. 3 bzw. 4 somit ein Sensierelement auf, das von der ersten Schichtanordnung 16 gebildet wird, und vier Speicherelemente, die von den zweiten Schichtanordnungen 18 gebildet werden, wobei die Schichtanordnungen 16, 18 jeweils genau zwei, übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten 12, 14 aufweisen, die über die Zwischenschicht 13 voneinander getrennt sind. Zudem ist jeweils eine der beiden ferromagnetischen Schichten 12, 14 eine hartmagnetische Schicht und die jeweils andere eine weichmagnetische Schicht.

[0056] Im Fall der als Speicherelement dienenden zweiten Schichtanordnung 18 wird weiter über die auf gegenüber liegenden Seiten der weichmagnetischen Schicht, d. h. der zweiten ferromagnetischen Schicht 14, verlaufende Leiterstruktur 22 mittels geeignet darin geführter elektrischer Ströme, die ein internes Magnetfeld in der Schichtanordnung 18 erzeugen, die Richtung der Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht wahlweise parallel oder antiparallel zu der Richtung der Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht ausgerichtet. Aufgrund der vergleichsweise großen Dicke der Leiterbahnen der Leiterstruktur 22 gegenüber den Schichten 11, 12, 13 und 14 schließt diese bevorzugt den gesamten Schichtstapel aus Bufferschicht 11, Referenzschicht 12, Zwischenschicht 13 und Detektionsschicht 14 zwischen sich ein. Über den GMR-Effekt ist es dann möglich, die parallele oder antiparallele Ausrichtung der Magnetisierungen, die die beiden Zustände 20, 21 charakterisiert, auszulesen. Die Änderung der Richtung der Magnetisierung ist weiter magnetisch reversibel, d. h. die zweite Schichtanordnung 18 ist magnetisch von dem ersten Zustand 20 in den zweiten Zustand 21 und von dem zweiten Zustand 21 in den ersten Zustand 20 überführbar, wobei diese jeweils unterhalb einer Grenzamplitude des internen Magnetfeldes, insbesondere auch in dessen Abwesenheit oder nach dessen Abschalten, zeitlich stabil sind. Damit bildet die zweite Schichtanordnung 18 jeweils ein magnetisch zwischen diesen beiden Zuständen 20, 21 umschaltbares, digitales Speicherelement, das sich in unmittelbarer Umgebung zu dem von der ersten Schichtanordnung 16 gebildeten Sensierelement integriert auf einem gemeinsamen Substrat befindet.

## Patentansprüche

1. Integriertes Speicher- und Sensierelement, wobei auf einem Substrat (10) bereichsweise mindestens eine in einem Messbereich gegenüber einem externen Magnetfeld auf Grund des GMR-Effektes sensitive erste Schichtanordnung (16) vorgesehen ist, die zwei übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten (12, 14) aufweist, die über eine Zwischenschicht (13) voneinander getrennt sind, und wobei auf dem Substrat (10) bereichsweise mindestens eine in dem Messbereich gegenüber dem externen Magnetfeld zumindest weitgehend nicht sensitive, zweite Schichtanordnung (18) vorgesehen ist, die zwei übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten (12, 14) aufweist, die über eine Zwischenschicht (13)

10

voneinander getrennt sind.

2. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine insbesondere auf der zweiten Schichtanordnung (18) angeordnete magnetische Abschirmung oder Abschirmschicht (19) vorgesehen ist, die die zweite Schichtanordnung (18) oder zumindest eine der ferromagnetischen Schichten (12, 14) der zweiten Schichtanordnung (18) innerhalb des Messbereiches von dem Einfluss des externen Magnetfeldes zumindest weitgehend abschirmt.

3. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmschicht (19) eine insbesondere galvanisch abgeschiedene Permalloy-Schicht oder eine andere, ein Magnetfeld möglichst stark dämpfende Schicht ist, die sich auf der dem Substrat (10) abgewandten ferromagnetischen Schicht (14) befindet.

4. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Substrat (10) und der ersten Schichtanordnung (16) und/oder der zweiten Schichtanordnung (18) eine Bufferschicht (11) vorgesehen ist.

5. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Bufferschicht (11) eine Permalloy-Schicht oder eine hochmagnetische Permalloy-Schicht, insbesondere der Zusammensetzung  $\text{Ni}_{79} \text{Gew.}\% \text{ Fe}_{16,7} \text{Gew.}\% \text{ Mo}_{4} \text{Gew.}\% \text{ Mn}_{0,3} \text{Gew.}\%$  ist.

6. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschicht (13) aus Kupfer oder einer Legierung von Kupfer mit mindestens einem Edelmetall, insbesondere einer CuAgAu-Legierung, besteht.

7. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von den beiden übereinander liegenden, ferromagnetisch miteinander gekoppelten ferromagnetischen Schichten (12, 14) der ersten und/oder der zweiten Schichtanordnung (16, 18) jeweils eine weichmagnetische Schicht (14) ist, deren Richtung der Magnetisierung über ein externes Magnetfeld zumindest weitgehend parallel zu der Richtung dieses Magnetfeldes ausrichtbar ist, und dass die jeweils andere eine hartmagnetische Schicht (12) ist, deren der Richtung der Magnetisierung von der Richtung des externen Magnetfeldes zumindest unterhalb einer Grenzfeldstärke zumindest weitgehend unbeeinflusst ist.

8. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jede der Schichtanordnungen (16, 18) genau zwei übereinander liegende, ferromagnetisch miteinander gekoppelte ferromagnetische Schichten (12, 14) aufweist, die über die Zwischenschicht (13) voneinander getrennt sind, wovon jeweils eine eine hartmagnetische Schicht (12) und jeweils eine eine weichmagnetische Schicht (14) ist.

9. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Anordnung von Leiterbahnen (22) mit einer "bit-line" und eine "word-line" vorgesehen ist, wobei die "bit-line" und die "word-line" auf gegenüber liegenden Seiten der weichmagnetischen Schicht (14) verlaufen, und wobei mittels der "bit-line" und der "word-line" über einen darin geführten elektrischen Strom, der zumindest bereichsweise ein internes Magnetfeld in der zweiten Schichtanordnung (18) erzeugt,

## DE 101 40 606 C 1

11

12

die Richtung der Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht (14) parallel oder antiparallel zu der Richtung der Magnetisierung der hartmagnetischen Schicht (12) ausrichtbar ist, und wobei mittels der "bit-line" und "word-line" und einen darin geführten elektrischen Strom über einen GMR-Effekt auslesbar ist, ob die parallele oder antiparallele Ausrichtung der Magnetisierungen vorliegt.

10. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die zweite Schichtanordnung (18) hinsichtlich ihres Aufbaus von der ersten Schichtanordnung (16) lediglich durch die magnetische Abschirmung oder Abschirmschicht sowie die Anordnung von Leiterbahnen (22), mit der die Richtung der Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht (14) der zweiten Schichtanordnung (18) veränderbar ist, unterscheidet.

11. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schichtanordnung (18) mittels des von der stromführenden Anordnung von Leiterbahnen (22) hervorgerufenen internen Magnetfeldes, mit dem zumindest eine Teilschicht, insbesondere die weichmagnetische Schicht (14), der zweiten Schichtanordnung (18) beaufschlagt wird, magnetisch reversibel von einem ersten Zustand (20) in einen zweiten Zustand (21) und/oder magnetisch reversibel von einem zweiten Zustand (20) in einen ersten Zustand (21) überführbar ist, wobei der erste und/oder der zweite Zustand (20, 21) unterhalb einer Grenzamplitude des internen Magnetfeldes, insbesondere auch in dessen Abwesenheit oder nach dessen Abschalten, zeitlich stabil ist.

12. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Überführen des ersten Zustandes (20) in den zweiten Zustand (21) gegenüber dem Überführen des zweiten Zustandes (21) in den ersten Zustand (20) durch ein zumindest näherungsweise entgegengesetzt gerichtetes internes Magnetfeld vornehmbar ist.

13. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in dem ersten Zustand (20) die Richtungen der Magnetisierungen der zwei übereinander liegenden, ferromagnetisch miteinander gekoppelten ferromagnetischen Schichten (12, 14) zumindest näherungsweise parallel zueinander orientiert sind, und dass in dem zweiten Zustand (21) die Richtungen der Magnetisierungen der zwei übereinander liegenden, ferromagnetisch miteinander gekoppelten ferromagnetischen Schichten (12, 14) zumindest näherungsweise antiparallel zueinander orientiert sind.

14. Integriertes Speicher- und Sensierelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schichtanordnung (16) ein magnetisch sensitives Element und die zweite Schichtanordnung (18) ein magnetisch zwischen den zwei Zuständen (20, 21) umschaltbares, digitales Speicherelement des integrierten Speicher- und Sensierelementes (30) ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

65

- Leerseite -



ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

DE 101 40 606 C1

Int. Cl. 7:

H 01 L 27/22

Veröffentlichungstag:

8. Mai 2003

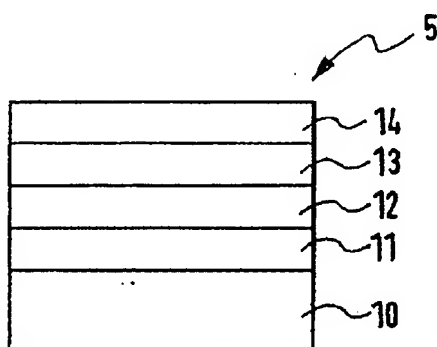


Fig. 1

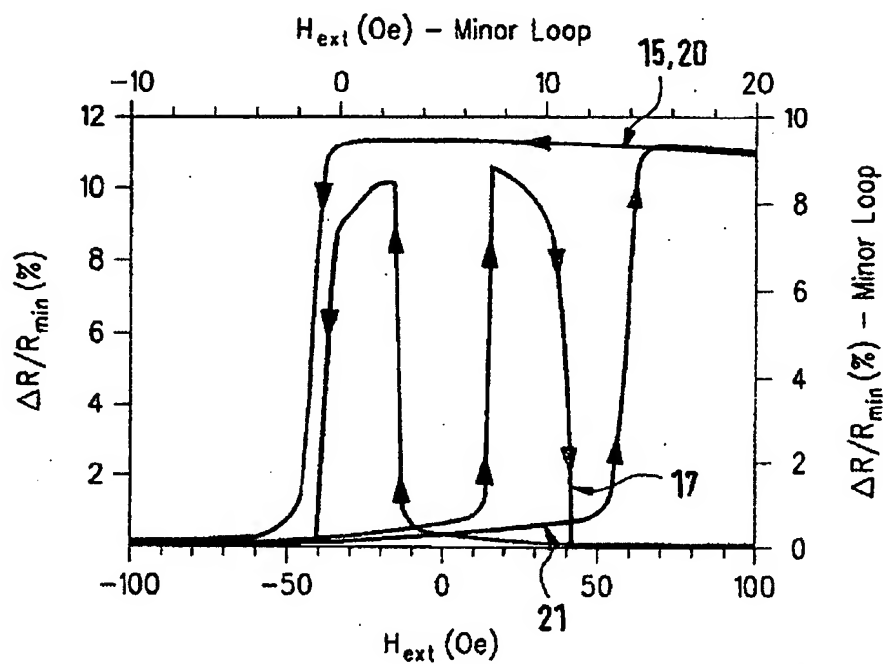


Fig. 2

203 190/156

ENSDOCID: &lt;DE 10140606C1\_J&gt;

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:

DE 10140 606 C1

Int. Cl.?

H01L 27/22

Veröffentlichungstag:

8. Mai 2003

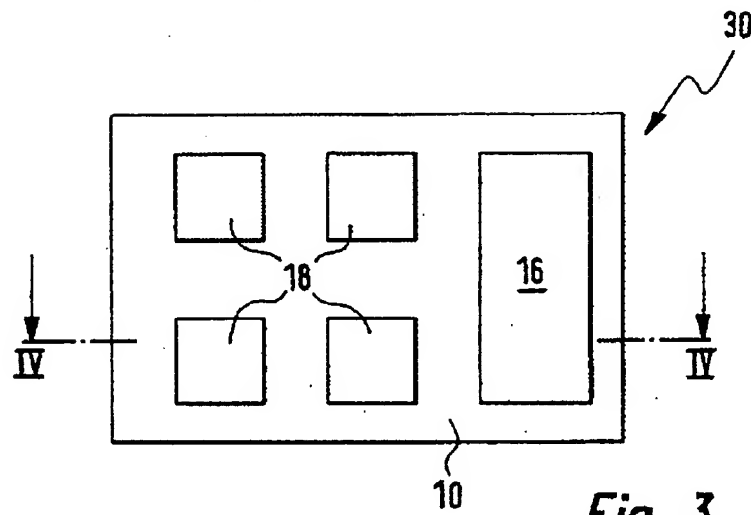


Fig. 3

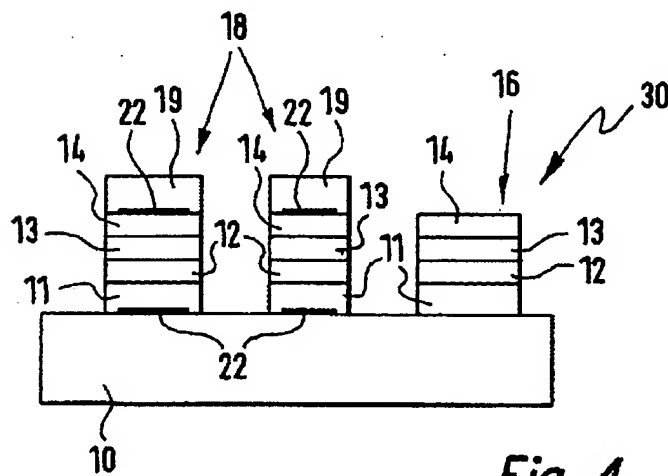


Fig. 4

203 190/156